

# Bodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen

## Halbtechnische Bodenfilterversuche – Teil 2: Versuche zur Salzbelastbarkeit\*)

Ulrich Kasting und Dieter Grotehusmann (Hannover)

### Zusammenfassung

Bei der Behandlung von Straßenabflüssen vor der Einleitung in Oberflächengewässer werden seit einiger Zeit auch Retentionsbodenfilteranlagen eingesetzt. Zur Ermittlung der Reinigungsleistung dieser Anlagen werden halbtechnische Bodenfilterversuche durchgeführt. Die Ergebnisse des zweiten Teils dieser Untersuchung zeigen, dass es durch den Eintrag von Feststoffen, die mit dem Fahrbahnabfluss auf die Filter aufgebracht werden, zu einer Zunahme des Ton- und Schluffgehalts, der Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxide und der organischen Substanz in der oberen Filterschicht kommt. Die Reinigungsleistung des Filters wird so durch bessere Filtration und Adsorptionmöglichkeiten erhöht. Durch den Stoffeintrag während der Betriebszeit verringert sich somit die Bedeutung des eingesetzten Filtermaterials für die Reinigungsleistung der Bodenfilteranlage.

Untersuchungen zur Salzbelastbarkeit der Filtersubstrate zeigen, dass einige Substrate aufgrund der Tendenz zur inneren Kolmation infolge Streusalzeinwirkung zur Behandlung von Straßenabflüssen nicht geeignet sind. Es wird ein Testverfahren entwickelt, um die Salzbelastbarkeit von Filtersubstraten zu prüfen.

**Schlagwörter:** Entwässerungssysteme, Bodenfilter, Oberfläche, Straße, Abfluss, Abwasserreinigung, Salzbelastung, Streusalz, Reinigungsleistung, Filtration, Adsorption, Kolmation

### Abstract

#### Soil Filtration Plants for the Treatment of Street Run-off Semi-Scale Soil Filtration Tests – Part 2: Testing Salinity Tolerance Levels

For some time now, retention-type soil filtration plants have been used for the treatment of street run-off prior to its discharge into water bodies. Semi-scale soil filtration tests were run to determine the treatment capacity of such plants. The results of the second part of the test show that due to the discharge of solids that enter the filter together with the run-off from the road surfaces and lanes the clay and silt contents increase as well as the iron oxide, manganese oxide and aluminium oxide levels and the amount of organic matter in the upper layer of the filter.

The treatment capacity of the filter is thus increased thanks to better filtration and adsorption capacity. Due to the substances that enter the filter during operation, the importance of the filter material as such for the treatment capacity of the soil filtration plant diminishes.

Investigations into the salinity tolerance of the filter material have shown that some substrates, due to their trend towards inner colmation, because of the effects of de-icing salt, are not suited for the treatment of street run-off. Test methods are being developed to study salinity tolerance levels of filter substrates.

**Key words:** drainage systems, soil filter, surface, street, run-off, wastewater treatment, salt load, de-icing salt, treatment capacity, filtration, adsorption, colmation

### 1 Einleitung

Ist eine Behandlung von Straßenabflüssen vor der Einleitung in Oberflächengewässer erforderlich, so werden dabei üblicherweise Absetzbecken und seit einiger Zeit auch Retentionsbodenfilteranlagen eingesetzt. Hinweise zur Bemessung und Konstruktion der Retentionsbodenfilter sind in dem Merkblatt DWA-M 178 [1] und den RAS-Ew [2] enthalten.

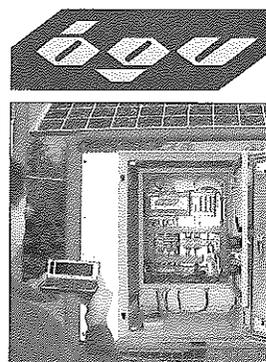
Zur Ermittlung der Reinigungsleistung dieser Anlagen wurden in einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförder-

– Anzeige –

## bgu-Fernwirktechnik mobil und mehr... bgu-MoRIS!

- Mobile Fernwirktechnik mit moderner SPS-Steuerung und Datenerfassung
- Zukunftssicheres System mit hohen Einspareffekten
- Universell einsetzbar in breitem Anlagenspektrum

bgu – Umweltschutzanlagen GmbH  
Schwabenstr. 27 · D-74626 Bretzfeld  
Telefon (0 79 46) 91 20-0 · Fax 91 20-19  
E-Mail: info@bgu-online.de



bgu-Fernwirktechnik  
Informationen unter  
[www.bgu-online.de](http://www.bgu-online.de)

\*) Teil 1: KA 11/2003, Seite 1428–1433 [4]

ten Forschungsprojekt (1. Teil) Filtersubstrate in Schüttelversuchen auf ihr Adsorptionsverhalten [3] und in halbtechnischen Bodenfiltern auf ihre Reinigungsleistung gegenüber straßenspezifischen Inhaltsstoffen untersucht [4]. Insgesamt wurden hohe Wirkungsgrade festgestellt, die darauf hinweisen, dass Bodenfilter zu einer gezielten Frachtreduktion und zum nachhaltigen Gewässerschutz beitragen können.

Aus den bislang erzielten Daten lassen sich allerdings keine Hinweise auf das Langzeitverhalten dieser Anlagen ableiten. Daher werden in einem zweiten Versuchszeitraum die halbtechnischen Bodenfilter weiter betrieben [5]. Zusätzlich werden Versuche zur Salzbelastbarkeit der Filtersubstrate vorgenommen, da sich im ersten Versuchszeitraum nach Belastung mit tausalzhaltigen Niederschlagsabflüssen eine deutliche Verringerung der Durchlässigkeit zeigte. Die Ergebnisse aus dem zweiten Versuchszeitraum werden im Folgenden vorgestellt.

## 2 Halbtechnische Bodenfilterversuche

Für die halbtechnischen Bodenfilterversuche wird die in [4] beschriebene Lysimeteranlage am Standort des Seelhorster Kreuzes in Hannover weiter betrieben. Es werden unterschiedliche Filtersubstrate in sechs Lysimetern untersucht. Lysimeter 1 ist mit einem technogenen Substrat gefüllt (FerroSorp®), das unter anderem in zwei Bodenfilteranlagen in Berlin mit dem Ziel der P-Reduzierung eingesetzt wird. Das Filtersubstrat in Lysimeter 2 besteht aus einer Mischung von Lava-, Bims- und Basaltsanden. Diese Mischung ist in etlichen Bodenfiltern zur Behandlung von Straßenabflüssen im Raum Köln eingesetzt worden. Lysimeter 3 und 4 enthalten einen Sand aus Niedersachsen, der einen hohen Eisenoxid- und Carbonatgehalt aufweist. In Lysimeter 5 ist ein Gemisch aus 70 Prozent Lavasand und 30 Prozent Bims eingebaut. Lysimeter 6 ist mit einem reinen Quarzsand bestückt. Die Kenndaten der einzelnen Lysimeter und Substrate sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Lysimeter werden mit einer Pumpe aus einem Sandfang heraus mit Straßenabflüssen des Messeschnellwegs (DTV 45 000) belastet. Die Reinigungsleistung gegenüber den Stra-

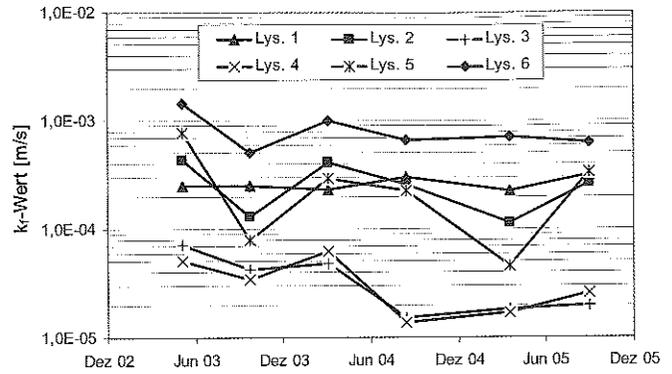


Abb. 1: Entwicklung der Filterdurchlässigkeiten im Untersuchungszeitraum

ßenabflüssen wird durch Beprobung der Zu- und Abläufe der Filter bestimmt. Im Versuchszeitraum von zwei Jahren sind zwischen 140 und 164 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> Filterfläche aufgebracht worden. Dies entspricht nach der Empfehlung des Merkblatts DWA-M 178 in etwa der Wassermenge, die innerhalb von drei Jahren maximal auf Bodenfilter zur Behandlung von Straßenabflüssen aufgebracht werden sollte.

### 2.1 Untersuchungen zur Kolmation

Das Ausfiltern von feinen Partikeln aus dem Niederschlagsabfluss ist neben den Sorptionsvorgängen der wesentliche Reinigungsmechanismus bei der Bodenfiltration. Filter haben laut Definition die Aufgabe, den Materialtransport bei Wasserbewegung zu verhindern und gleichzeitig den Wasserdurchtritt nicht zu behindern (hydraulische Durchlässigkeit). Wird die Wasserbewegung durch die Selbstdichtung von Böden sehr stark behindert oder gänzlich unterbunden, spricht man von Kolmation.

Diese Selbstdichtung ist auf die Verringerung der am Wassertransport beteiligten Poren zurückzuführen und kann unterschiedliche Ursachen haben. Es wird unter anderem zwischen innerer und äußerer Kolmation unterschieden. Bei der inneren Kolmation werden Partikel in das Korngerüst des Bodens ein-

Lysimeter	1	2	3	4	5	6
<b>Aufbau Filter</b>	<b>FerroSorp® RW<sup>1)</sup></b>	<b>Substratgemisch<sup>2)</sup></b>	<b>Sand Nr. 22<sup>3)</sup></b>	<b>Sand Nr. 22</b>	<b>Lavasand/ Bims<sup>4)</sup></b>	<b>Quarzsand Nr. 13</b>
<b>Bauhöhe Lysimeter</b>	160,0	160,0	160,0	161,0	161,0	161,5
<b>Innendurchmesser [cm]</b>	62,9	61,0	60,0	59,0	59,3	59,6
<b>Dränschichtdicke [cm]</b>	20,5	21,0	20,0	20,0	19,5	19,0
<b>1. Lage Dränschicht: 10 cm Kies [mm]</b>	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16	8/16
<b>2. Lage Dränschicht: ca. 10 cm Kies [mm]</b>	2/8	2/8	2/8	2/8	2/8	2/8
<b>Mächtigkeit Hauptfilterschicht [cm]</b>	81,4	79,6	78,4	71,0	77,4	79,2
<b>d<sub>10</sub> [mm] Hauptfilterschicht</b>	0,21	0,06	n. b.	0,08	0,07	0,24
<b>d<sub>60</sub> [mm] Hauptfilterschicht</b>	0,58	1,2	n. b.	0,5	1,1	0,7
<b>U = d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub> [-] Hauptfilterschicht</b>	2,8	20	n. b.	6,3	15,7	2,9
<b>Ton/Schluffgehalt [%] Hauptfilterschicht</b>	1,3	10,8	n. b.	8,8	9,8	0,6

<sup>1)</sup> Hersteller: Firma HeGo Biotec

<sup>2)</sup> Hersteller: Firma Vulkatec, Gemisch aus 50 Prozent Lava-Sand 0/4, 25 Prozent Bims-Sand 2/5, 20 Prozent Basalt 0,5/1,0 und 5 Prozent Rinden-Humus nach RAL

<sup>3)</sup> Sand Nr. 22 (abgesiebt auf Korngrößen > 0,125 mm; Trockensiebung)

<sup>4)</sup> Gemisch aus 70 Vol.-% Lavasand und 30 Vol.-% Bims

Tabelle 1: Kenndaten der Lysimeter

getragen und dort abgelagert. Im Inneren des Bodenkörpers verringert sich der Porenraum, und die Wasserdurchlässigkeit sinkt. Bei der äußeren Kolmation bildet sich außen auf dem Korngerüst und in den ersten Zentimetern der Filterschicht eine gering durchlässige Schicht, die die Infiltration in tiefere Bodenschichten behindert. In der Regel tritt die äußere Kolmation als erstes auf.

Um Kolmationsvorgänge zu erkennen, wurden in regelmäßigen Abständen an den Lysimetern die Durchlässigkeit der Filtersubstrate sowie die Filtermächtigkeit ermittelt. Abbildung 1 zeigt die Veränderung der  $k_f$ -Werte der unterschiedlichen Filtersubstrate in den Lysimetern. Eine Untersuchung der Feststoffe aus dem Straßenabflusswasser, das auf die Lysimeter aufgebracht wurde, ergab, dass diese fast ausschließlich der Schlufffraktion ( $< 0,06$  mm) zuzuordnen sind.

Für die Lysimeter 1 und 6 mit den nach Tabelle 1 größten Substraten (Ferrosorp bzw. Quarzsand) wird über den Messzeitraum nur eine sehr geringe bzw. keine Verringerung der Durchlässigkeit festgestellt. Die  $k_f$ -Werte sind auch bei Versuchsende mit  $2,5 \times 10^{-4}$  m/s bzw.  $7 \times 10^{-4}$  m/s recht hoch. Die durch Filtration in den oberen Lysimeterschichten zurückgehaltenen Feinteile (vgl. Abbildung 3) bewirken hier keine nennenswerte Kolmation.

Bei Lysimeter 3 und 4 sinkt zwischen März 2004 und September 2004 die Durchlässigkeit von etwa  $6 \times 10^{-5}$  m/s auf  $2 \times 10^{-5}$  m/s. Zu zwei Zeitpunkten nach Streusalzeinsatz wurde hier eine Destabilisierung des Bodengefüges mit einhergehender Verlagerung und teilweisem Austrag von feinen Partikeln beobachtet. Es trat eine innere Kolmation auf, die zu der erheblichen Verringerung der Durchlässigkeit führte. Das Filtersubstrat ist daher wegen der Neigung zur Kolmation unter Salzbelastung für den Einsatz in Bodenfilteranlagen für Straßenabflüsse nicht zu empfehlen. In Abschnitt 3 wird auf dieses Phänomen ausführlicher eingegangen.

Bei Lysimeter 2 (Lava-, Bims-, Basaltgemisch) und Lysimeter 5 (Lavasand, Bims) fällt die vergleichsweise große Schwankung der Durchlässigkeit auf. Hier kann ein versuchsbedingter Einfluss durch Aufwirbelung der Sedimente auf der Lysimeteroberfläche bei der Beschickung nicht ausgeschlossen werden. Insgesamt sind die Durchlässigkeiten im Laufe des Versuchszeitraumes durch den Feinpartikeleintrag geringer geworden.

Bei der Übertragung dieser Ergebnisse auf großtechnische Anlagen wird jedoch davon ausgegangen, dass der Eintrag von Feststoffen auf eine großtechnische Anlage, wie er in diesem Untersuchungszeitraum erfolgt ist, sich nicht nachteilig auf die Betriebsweise der Anlage (Durchlässigkeit) auswirken würde. Zum einen wirkt sich bei großtechnischen Anlagen der nach Merkblatt DWA-M 178 empfohlene Schilfbewuchs durch die Raumfilterwirkung der Schilfstreuschicht und der guten Durchwurzelung der Filterschicht positiv auf die Durchlässigkeit aus. Zum anderen trocknet eine bewachsene offene Filterfläche bei großtechnischen Anlagen besser ab, was zu einer besseren Strukturierung der eingetragenen Feststoffe/Sedimente führt. Voraussetzung dafür ist nach [7] aber, dass die Beschickungspausen so lang sind, dass eine Abtrocknung der Bodenfilteroberfläche möglich ist. Fremdwasserzuflüsse zu Bodenfilteranlagen sind daher unbedingt zu vermeiden.

**2.2 Reinigungsleistung der unterschiedlichen Substrate**

Die frachtgewichtigen Zulaufkonzentrationen sind in Tabelle 2 Werten aus der Literatur gegenübergestellt. Ein Vergleich der

Parameter	erster Untersuchungszeitraum <sup>1)</sup>	zweiter Untersuchungszeitraum <sup>1)</sup>	Messprogramme Straßenabflüsse (Median <sup>2)</sup> )
AFS [mg/l]	24	54	155
CSB [mg/l]	42	57	99
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	0,49	0,45	0,60
Cu [mg/l]	0,032	0,062	0,110
Cu-f [mg/l]	0,014	0,023	
Pb [mg/l]	0,019	0,010	0,08 <sup>3)</sup>
Pb-f [mg/l]	0,007	0,005	
Zn [mg/l]	0,12	0,155	0,460
Zn-f [mg/l]	0,062	0,064	
P <sub>ges</sub> [mg/l]	0,41	0,08	0,31
P-f [mg/l]	0,29	0,03	
Pt [µg/l]		3,04	
Pt-f [µg/l]		1,75	
MKW <sup>5)</sup> [mg/l]	0,14	0,34	< 0,1–0,25 <sup>3)</sup>
PAK <sup>6)</sup> [µg/l]	0,4	0,21	5,20

- <sup>1)</sup> Messprogramme seit 1993
- <sup>2)</sup> Messprogramme an den Bundesautobahnen 4 und 59
- <sup>3)</sup> Datenauswertung nach [8]
- <sup>4)</sup> frachtgewichtige Konzentrationen der Einzelbeschickungen
- <sup>5)</sup> nach Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV) H18
- <sup>6)</sup> nach der Liste der U. S. Environmental Protection Agency (EPA)

Tabelle 2: Vergleich der Zulaufkonzentration mit Straßenabflusskonzentrationen aus der Literatur

Zulaufkonzentrationen zeigt, dass die Werte aus dem ersten und zweiten Untersuchungszeitraum geringer als die aus den anderen Messprogrammen zu Straßenabflüssen sind. Die geringeren Konzentrationen werden hauptsächlich darauf zurückgeführt, dass die Versuche nicht parallel zu den Regenerereignissen durchgeführt werden konnten. Das Beschickungswasser wurde aus einem Sandfang unmittelbar nach Regenerereignissen entnommen. Obgleich die Sedimente im Sandfang vor einer Beschickung mechanisch aufgewirbelt wurden, ist der Einfluss der Absetzwirkung nicht vollständig auszugleichen. Für die Beurteilung der Wirkungsgrade der einzelnen Substrate in den Lysimetern wird dies nicht als nachteilig angesehen, da Retentionsbodenfiltern immer eine Absetzanlage vorgeschaltet ist.

Für die beprobten Einzelereignisse wird mit den Zu- und Ablaufkonzentrationen der frachtgewichtige Wirkungsgrad ermittelt. In Tabelle 3 sind die Wirkungsgrade zusammengestellt. Bei den Analysen wird die Bestimmungsgrenze bei einigen Parametern unterschritten, weshalb der Wirkungsgrad auf zwei Arten ermittelt wird. Bei einer Berechnung wird die entsprechende Konzentration zu „0“ und bei der anderen Berechnung wird die Konzentration gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt. Damit kann der Bereich des Wirkungsgrads abgeschätzt werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass sich die Reinigungsleistung, bezogen auf die homogenisierte und filtrierte Probe der untersuchten Filtersubstrate, nicht signifikant unterscheidet. Das überrascht zunächst, denn in Schüttelversuchen wurde zum Beispiel für Schwermetalle eine deutlich schwächere Sorption des Quarzsands (Lysimeter 6) als beispielsweise für FerroSorp RW (Lysimeter 1) gemessen. Verglichen mit dem ersten Unter-

Lysimeter	Filtersubstrat	AFS	CSB	NH4-N	P <sub>ges</sub> (P-f)	Cu (Cu-f)	Pb (Pb-f)	Pt (Pt-f)	Zn (Zn-f)	MKW	ΣPAK (EPA)
1	FerroSorp RW <sup>1)</sup>	92	67	95	65 (33-36)	90-96 (77-93)	54-64 (56-87)	29-48 (27-76)	97 (91-98)	78-90	65
2	Substratgemisch <sup>2)</sup>	93	65	97	67 (51-57)	90 (74-85)	33-40 (47-71)	31-59 (31-88)	96 (90-95)	84-96	77
3	Sand 22	88	69	98	32 (9-15)	90 (76-89)	46-54 (40-63)	29-53 (30-74)	91 (82-88)	86-98	75
4	Sand 22	91	69	98	61 (30-36)	89 (75-89)	38-43 (51-81)	32-63 (32-90)	96 (90-96)	86-99	74
5	Lavasand/Bims	94	68	98	58 (13-14)	86 (66-75)	56-66 (40-66)	39-73 (34-93)	97 (91-98)	86-100	77
6	Quarzsand	94	64	96	61 (40-42)	80 (68-75)	60-69 (53-80)	30-58 (27-76)	97 (90-97)	86-99	80

Ergeben sich aufgrund der Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze Abweichungen von mehr als 5 Prozent beim Wirkungsgrad, so wird der Bereich angegeben. Ansonsten ist der Mittelwert aus den Berechnungen angegeben.

<sup>1)</sup> Firma HeGo Biotec

<sup>2)</sup> Firma Vulkatec

Tabelle 3: Frachtgewogene Wirkungsgrade – gesamt (Werte in Klammern für filtrierte Proben)

suchungszeitraum ist bei Lysimeter 6 sowohl bei den partikulären als auch den gelösten Stoffen für praktisch alle Parameter die Reinigungsleistung deutlich angestiegen (Abbildung 2).

Dies wird auf die im Lauf der Betriebszeit bessere Filterleistung des Substrats zurückgeführt. Mit dem Straßenabfluss wird feines Material in die Lysimeter eingetragen, das in den oberen Substratschichten zurückgehalten wird und seinerseits die Filtrationswirkung erhöht (vgl. Abbildung 3). Mit den Feinpartikeln werden auch Fe-, Al- und Mn-Oxide eingetragen (vgl. Abbildung 5), die auch das Sorptionsvermögen gegenüber gelösten Stoffen erhöhen. Eine nachlassende Reinigungsleistung durch die längere Betriebsdauer der Lysimeter 3 bis 6, die schon im ersten Untersuchungszeitraum betrieben wurden, ist nicht zu erkennen.

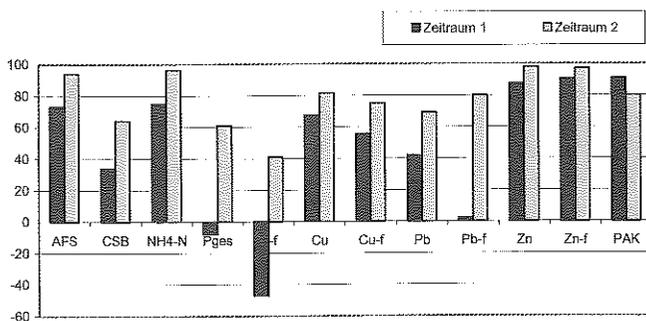
### 2.3 Substratuntersuchungen

Nach Ende der Versuche werden Substratproben aus unterschiedlichen Höhenlagen des Filters entnommen und analysiert. Die Korngrößenbestimmungen nach Abbildung 3 zeigen, dass es durch die Filterwirkung zu einer Anreicherung der mit dem Straßenabfluss eingetragenen Stoffe besonders in den obersten zwei Zentimetern der Filterschichten kommt. Die eingetragenen Feststoffe sind fast ausschließlich der Schlufffrak-

tion zuzuordnen. Teilweise ist eine geringe Erhöhung des Ton- und Schluffgehalts in einer Tiefe von 20 bis 22 cm unter Filteroberkante noch messbar.

Nach Merkblatt DWA-M 178 liegt, wie bereits erwähnt, die Obergrenze des Ton- und Schluffgehalts bei ≤ 5 Prozent für die einzubauenden Filtersubstrate. Bei Lysimeter 4 und 5 wird dieser Wert schon beim Einbau nicht eingehalten. Wie zu erwarten war, ändert sich im Betrieb durch den Feststoffeintrag der Ton- und Schluffgehalt. Dieser Vorgang ist normal für Bodenfilter- und auch Versickerungsanlagen. Am Ende des Versuchszeitraums wird auch bei den Lysimetern 1 und 6 in den oberen Schichten ein höherer Schluff- und Tongehalt gemessen.

Röntgenfluoreszenz-Analysen (RFA) zeigen nach Abbildung 4 für den Parameter Zink deutlich, dass der Rückhalt der eingetragenen Schwermetalle hauptsächlich im obersten Bereich der Filtersäulen erfolgt. Ein ähnliches Verhalten ist auch bei Kupfer und Blei gegeben. Ursache ist der Rückhalt der eingetragenen partikulär gebundenen Schwermetalle durch die Filtration. Aber auch die gelösten Schwermetalle können durch die Anreicherung der Eisen-, Aluminium- und Manganoxide in den oberen Filterschichten (Abbildung 5) adsorbiert werden. Diese Oxide erhöhen bekanntermaßen das Sorptionsvermögen gegenüber Schwermetallen erheblich. Die Schwermetallkonzentrationen nehmen mit zunehmender Profiltiefe stark ab und



Dargestellt sind die Werte für eine Auswertung, bei der bei Unterschreitung der Bestimmungsgrenze der Wert „0“ angesetzt wird.

Abb. 2: Frachtgewogene Wirkungsgrade – gesamt, Lysimeter 6 (Quarzsand), Vergleich zwischen erstem und zweitem Untersuchungszeitraum

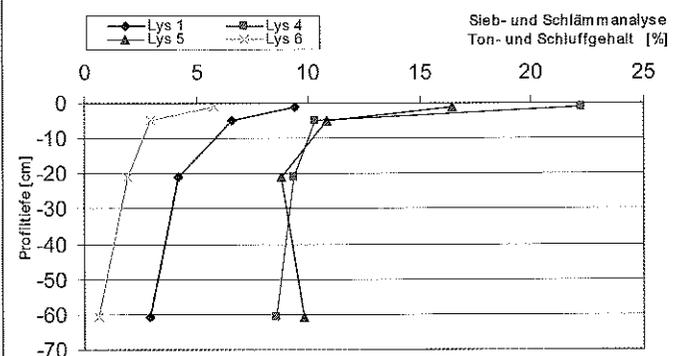


Abb. 3: Ton- und Schluffgehalt, Lysimeter 1 und 4 bis 6

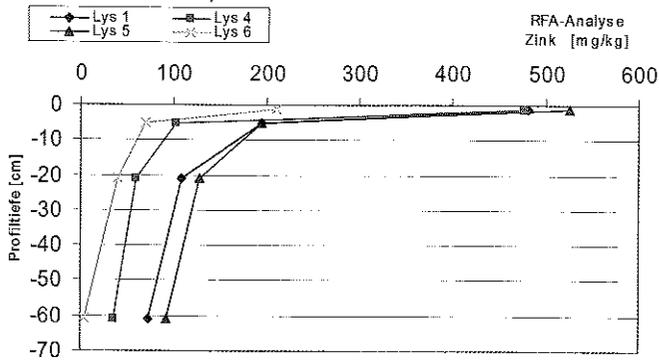


Abb. 4: Zinkkonzentration über Profiltiefe, Lysimeter 1 und 4 bis 6

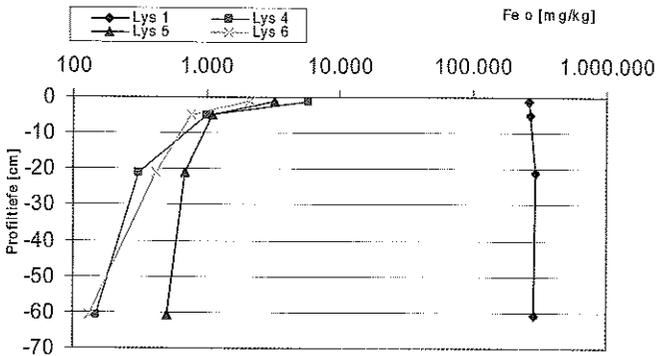


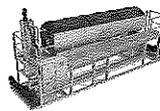
Abb. 5: Oxalatlösliches Eisenoxid Feo über Profiltiefe, Lysimeter 1 und 4 bis 6

liegen im unteren Bereich der Filtersäulen in etwa bei der Ausgangsbelastung der Filtersubstrate.

Abbildung 5 zeigt, dass Lysimeter 1 (FerroSorp® RW) den weit-aus höchsten Gehalt an Eisenoxiden aufweist. Die Gehalte an Mangan- und Aluminiumoxiden sind ebenfalls deutlich höher als bei den anderen Substraten. Diese hohen Gehalte korrespondieren jedoch nicht mit einer proportional höheren Reinigungsleistung, wie Tabelle 3 zeigt. Der Unterschied zu den anderen Substraten ist auch bei den gelösten Schwermetallen nur gering. Die Intensität der Bindung ist beim Substrat (FerroSorp® RW) jedoch deutlich höher als bei den anderen, wie in Eluatuntersuchungen nachgewiesen wurde.

Die pH-Werte der Substrate wurden zu Versuchsbeginn vor dem Einbau in die Lysimeter und bei Versuchsende bestimmt (Abbildung 6). Für die Substrate in Lysimeter 1, 4 und 5 sind nur geringfügige Änderungen festzustellen, während sich der pH-Wert in Lysimeter 6 sehr deutlich von pH etwa 4,5 auf über 7 erhöht. Dies wird auf den Eintrag carbonathaltiger Sedimente zurückgeführt. Der zu Versuchsbeginn carbonatfreie Quarzsand wies bei Versuchsende messbare Carbonatgehalte auf.

Das Straßenabflusswasser, mit dem die Lysimeter belastet wurden, hatten einen mittleren pH-Wert von 7,6. Eine Versauerung des Filtersubstrats, bei dem es zu einer Mobilisierung von Schwermetallen kommen würde, ist während des Versuchszeitraums an den eingesetzten Filtersubstraten somit nicht zu erkennen und aufgrund des pH-Werts der Straßenabflüsse auch in Zukunft nicht zu erwarten.



Ökonomisch entwässern mit der ALDRUM von Alfa Laval bedeutet für Sie: der Schlamm wird eingedickt um bis 90 % und Ihre Betriebs- und Wartungskosten reduzieren sich dadurch erheblich. Und das bei gleich bleibend optimalem Eindickergebnis. Tag für Tag. Jahr für Jahr.

Die Installation ist denkbar einfach: aufstellen und anschließen, und die Siebtrommel ALDRUM läuft – 24 Stunden, kontinuierlich. Der geflockte Schlamm wird nahezu geruchlos durch die sich langsam drehende Siebtrommel transportiert. Er verbleibt in der Trommel, während das Wasser durch einen Filter abgeleitet wird. Durch variable Drehzahlen, Neigungswinkel und Rotationsgeschwindigkeiten kann die Konzentration des eingedickten Schlammes geregelt werden. Und in Kombination mit dem Dekanter ALDEC wird aus der ALDRUM eine effektive Gesamtlösung für die Entwässerung und Eindickung von Schlämmen.

Noch Fragen? Wir informieren und beraten Sie gern ausführlich.

Deutschland: Tel. +49 40 7274 03, Fax +49 40 7274 2515  
 Österreich: Tel. +43 2236 6820, Fax +43 2236 659 40  
 Schweiz: Tel. +41 44 807 14 14, Fax +41 44 807 14 15  
 E-Mail: info.mideurope@alfalaval.com



www.alfalaval.com

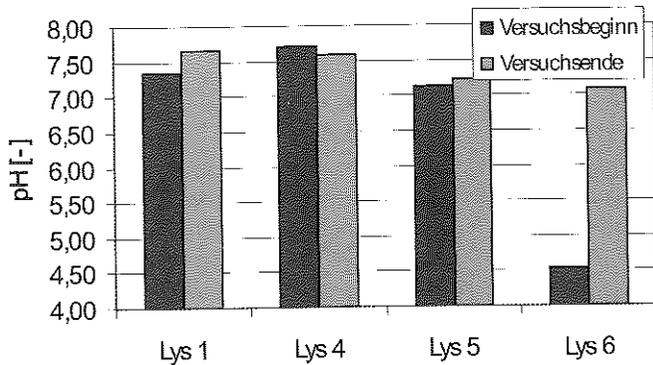


Abb. 6: pH-Werte der Substrate bei Versuchsbeginn und Versuchsende

Nach Merkblatt DWA M-178 wird für Filtersubstrate zum Einsatz in Bodenfiltern zur Straßenentwässerung ein Mindestgehalt an Carbonat von 5 Prozent bei natürlichen Sanden und 10 Prozent bei technischer Carbonatzumischung empfohlen, wenn der Bodenfilter das Ziel der Schwermetallbindung erfüllen soll. Nach den hier durchgeführten Versuchen ist die Forderung eines bestimmten Carbonatgehalts im Ausgangssubstrat nicht zwingend erforderlich, da keine Versauerung des Filtersubstrats beobachtet wurde. Bei einer Übertragung dieser Erkenntnisse auf andere Einzugsgebiete ist jedoch zu berücksichtigen, dass der pH-Wert im Straßenabfluss vom Carbonatgehalt der Böden im Umfeld, vom Straßenbelag (Gehalt an Carbonaten) und der Vorbelastung des Regenwassers abhängig ist. Treten geringe pH-Werte im Zulauf zu Bodenfilteranlagen auf oder ist durch einen verstärkten Eintrag von  $\text{NH}_4\text{-N}$  mit einer pH-Wert-Senkung zu rechnen, so sollte auf ein carbonathaltiges Filtersubstrat nicht verzichtet werden.

### 3 Salzbelastbarkeit der Substrate

Die Salzbelastbarkeit der Substrate ist wesentlich vom jeweiligen Tongehalt abhängig. Die sehr feinen Tonteilchen ( $< 2\mu\text{m}$ ) können zu größeren Aggregaten geflockt oder ungeflockt (peptisiert) im Boden vorliegen. Durch die zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen werden Brücken zwischen Tonteilchen gebildet, wodurch diese zu größeren Einheiten ausflocken. Das stabilisiert das Bodengefüge, und auch ein Boden mit höheren Tongehalten bleibt wasserdurchlässig. Bei Belastung mit tausalzhaltigen Straßenabflüssen werden durch die erhöhte NaCl-Zufuhr die Ca- und Mg-Ionen im Boden durch Na-Ionen ausgetauscht. Die einwertigen Na-Ionen können die Tonteilchen nicht so stark

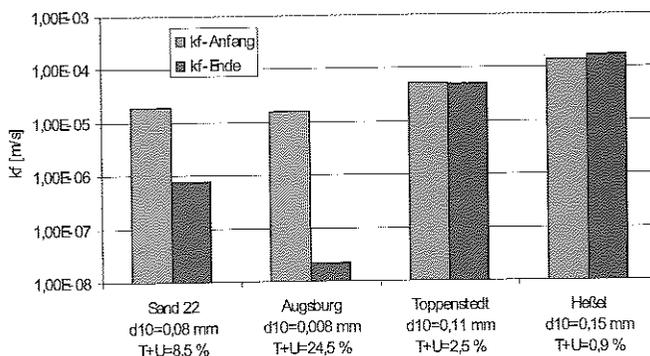


Abb. 7: Veränderung der Durchlässigkeit bei unterschiedlichen Substraten nach Belastung mit tausalzhaltigem Wasser

stabilisieren, und das Bodengefüge wird gestört. Werden dann durch nachfolgende Belastung mit salzarmen Wasser die Na-Ionen wieder ausgetragen, so kommt es zu einer Peptisation (Dispergierung der Flocken). Damit geht ein Verlust der Gefügestabilität einher, und die Wasserdurchlässigkeit des Bodens sinkt. Wesentlich für die Destabilisierung ist die mineralogische Zusammensetzung der Ton- und Schlufffraktion. So sind Böden bzw. Substrate mit aufweitbaren Tonmineralien (z.B. Smectite, Vermiculite) besonders gefährdet (u. a. [6]).

An vier ausgewählten Substraten mit unterschiedlichen Ton- und Schluffgehalten von 0,9 Prozent bis 24,5 Prozent wird im Labormaßstab die Belastbarkeit gegenüber Tausalz im Beschiebungswasser untersucht. Dabei werden die einzelnen Bodensäulen zunächst mit Trinkwasser beschickt und anschließend dreimal mit tausalzhaltigem Wasser mit ansteigenden Salzkonzentrationen belastet. Die Konzentrationen wurden in Anlehnung an tatsächlich gemessene Werte mit handelsüblichem Tausalz mit 98,5 Prozent NaCl, das von den Straßenmeistereien eingesetzt wird, eingestellt. Abschließend erfolgte wieder eine Beschickung mit reinem Trinkwasser. In Abbildung 7 sind die  $k_f$ -Werte zu Beginn und am Ende der Versuche aufgetragen.

Die beiden Sandsubstrate mit geringem Ton- und Schluffanteil von 2,5 Prozent und 0,9 Prozent, „Toppenstedt“ bzw. „Heßel“, reagieren unempfindlich auf die Belastung. Die Durchlässigkeit unterscheidet sich zu Beginn und am Ende der Versuche nur im Rahmen der Messgenauigkeit voneinander. Beim Sand 22, der in der halbtechnischen Versuchsanlage eingesetzt wurde, ist dagegen eine deutliche Verringerung der Durchlässigkeit von rd.  $2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  auf rd.  $8 \times 10^{-7} \text{ m/s}$  eingetreten. Noch drastischer ist die Kolmation bei dem Substrat „Augsburg“ ausgefallen, das mit 24,5 Prozent den höchsten Ton- und Schluffgehalt aufweist.

Die untersuchten Substrate bestätigen die empfohlene Obergrenze des Ton- und Schluffgehalts von 5 Prozent nach Merkblatt DWA-M 178. Allerdings kann mit den jetzigen Versuchen nicht belegt werden, ob die empfohlene Obergrenze eine ausreichende Bedingung ist, um eine Kolmation von Filtersubstraten infolge Salzbelastung zu vermeiden. Möglicherweise kann es bei Filtersubstraten mit aufweitbaren Tonmineralen schon eher zu einer Destabilisierung des Bodengefüges kommen. Andererseits kann unter Umständen auch ein Substrat mit höherem Schluff- und Tonanteil (Korngrößenbeurteilung der DIN 4022) eine ausreichende Salzbelastbarkeit aufweisen, wie die Messergebnisse für Substrate aus vulkanischer Herkunft (Lysimeter 1 und 5, Tabelle 1) vermuten lassen.

Daher wird in [5] ein Testverfahren vorgeschlagen, um Filtersubstrate direkt auf ihre Salzbelastbarkeit zu untersuchen. Dieses Testverfahren wird analog zu den oben beschriebenen Versuchen durchgeführt. Wird ein Ton- und Schluffgehalt von z. B.  $> 2,5$  Prozent festgestellt, bei dem Unsicherheiten bestehen, ob das Substrat eine ausreichende Salzbelastbarkeit aufweist, so sollte das entwickelte Testverfahren durchgeführt werden. Führen die Versuche zu keiner Kolmation, ist nach jetzigem Wissenstand eine ausreichende Salzbelastbarkeit gegeben.

Im Zusammenhang mit der Salzbelastbarkeit von Filtersubstraten sind folgende Hinweise bzw. Empfehlungen aus den Regelwerken kritisch zu beurteilen. Im Merkblatt ATV-DVWK-M 153 werden Filteranlagen zur Behandlung von Regenabflüssen mit einer 20 cm mächtigen Oberbodenschicht beschrieben, denen

die größte Reinigungsleistung zugewiesen wird. In der RAS-Ew [2] wird für Retentionsbodenfilter eine 20 cm mächtige Oberbodenschicht über dem Filtersubstrat empfohlen. Da Oberbodenschichten hohe Gehalte an Ton- und Schluff aufweisen können, wird der Einsatz von Oberbodenschichten ohne weitere Qualitätsangaben aus betrieblichen Gründen wegen der Gefahr der inneren Kolmation im Bereich von Retentionsbodenfiltern zur Straßenwasserbehandlung nicht empfohlen.

#### 4 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der halbtechnischen Bodenfilterversuche zeigen für den zweiten Untersuchungszeitraum, dass es durch den Eintrag von Feststoffen zu einer Zunahme des Ton- und Schluffgehaltes, der Fe-, Mn- und Al-Oxide (wenn die Ausgangskonzentration nicht zu hoch ist) und der organischen Substanz in der oberen Filterschicht kommt. Die Reinigungsleistung des Filters durch bessere Filtration und Adsorptionsmöglichkeit wird dadurch erhöht. Durch den Stoffeintrag während der Betriebszeit verringert sich somit die Bedeutung des eingesetzten Filtermaterials für die Reinigungsleistung der Bodenfilteranlage. Lysimeter 6 mit dem eingesetzten Quarzsand, der aufgrund seiner mineralischen Zusammensetzung nach [3] nur einen geringen Rückhalt gegenüber gelösten Stoffen erwarten lassen würde, zeigt durch den Stoffeintrag eine deutliche Verbesserung der Reinigungsleistung. Nach den jetzigen Erkenntnissen ist dieses Filtersubstrat somit auch für den Einsatz in Bodenfilteranlagen geeignet.

Die Untersuchungen zur Salzbelastbarkeit der Filtersubstrate zeigen, dass die bei den Lysimeterversuchen an einem Substrat festgestellte Tendenz zur inneren Kolmation reproduzierbar ist. Solche Substrate sind für den Einsatz in Bodenfiltern zur Behandlung von Straßenabflüssen nicht geeignet.

Die hier durchgeführten Versuche bestätigen die für Bodenfiltersubstrate empfohlene Obergrenze des Ton- und Schluffgehalts von 5 Prozent nach Merkblatt DWA-M 178. Da aufgrund der Korngrößenbeurteilung der DIN 4022 mit dem Ton- und Schluffgehalt jedoch keine abschließende Beurteilung der Eignung von Filtersubstraten möglich ist, sollte bei bestehenden Unsi-

cherheiten ein Testverfahren zum Nachweis der Eignung der Substrate gegenüber Salzbelastung durchgeführt werden.

#### Dank

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Vorhabens und den Kooperationspartnern der Universität Lüneburg (Fakultät III, Labor für Umweltanalytik), der Firma HeGo Biotec GmbH und der Firma VulkaTec für die Teilfinanzierung.

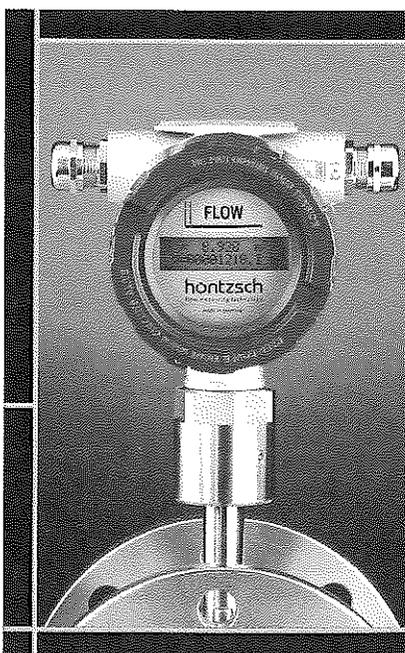
#### Literatur

- [1] Merkblatt DWA-M 178: *Empfehlungen für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem*, Hennef, 2005
- [2] RAS-Ew: *Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Entwässerung RAS-Ew*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag, Köln, 2005
- [3] U. Kasting, O. Gameh, D. Grotehusmann: *Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen – Auswahl geeigneter Boden-substrate*, KA 9/2001, 1275–1284
- [4] U. Kasting, M. Janiczek, D. Grotehusmann: *Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen – Halbtechnische Bodenfilterversuche*, KA 11/2003, 1428–1433
- [5] *Naturnahe Verfahren zur Behandlung von Regenabflüssen, 2. Untersuchungszeitraum*, Forschungsprojekt, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Endbericht, Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie, Hannover, 2006, unveröffentlicht
- [6] H.-G. Brod: *Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, *Verkehrstechnik*, Heft V2, 1993
- [7] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): *Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb*, Düsseldorf, 2003
- [8] U. Kasting: *Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen*, Dissertation, Schriftenreihe des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Band 17, 2003

#### Autoren

Dr.-Ing. Ulrich Kasting, Dr.-Ing. Dieter Grotehusmann  
 Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH  
 Stiftstraße 12, 30159 Hannover  
 E-Mail: [info@ifs-hannover.de](mailto:info@ifs-hannover.de)



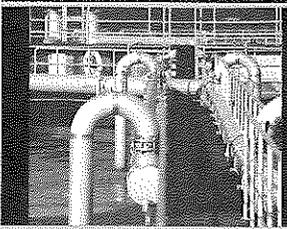
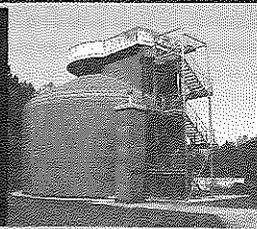


Stationäre und mobile

## Durchflussmessung

Belebungsluft      Biogas

**höntzsch**  
 flow measuring technology

**Höntzsch GmbH**  
 Gottlieb-Daimler-Str. 37  
 71334 Waiblingen  
 Tel. +49 7151 1716 0  
 Fax +49 7151 584 02  
[info@hoentzsch.com](mailto:info@hoentzsch.com)  
[www.hoentzsch.com](http://www.hoentzsch.com)